

Janusz Zajączkowski  
Endress+Hauser Polska sp. z o.o.

## Panele poboru i przygotowania próbek pary i wody z cyfrowym systemem pomiarowym Memosens® do pomiarów analitycznych w obiegach wodno-parowych bloków energetycznych

## Panels for sampling and conditioning of steam and water samples equipped with Memosens® digital measurement system for analytical measurements performed in steam and water circuits of power units

W obiektach energetyki zawodowej, jak i w elektrociepłowniach przemysłowych, jakość wody ma kluczowe znaczenie w eksploatacji bloków parowych, ponieważ tylko media o odpowiednich parametrach fizykochemicznych i wolne od zanieczyszczeń gwarantują długi czas niezawodnej eksploatacji urządzeń.

Jakość wody i pary jest warunkiem koniecznym odpowiedniej ochrony przed korozją elementów kotłów oraz rurociągów, zanieczyszczeniem osadami elementów obiegu wodno-parowego, a także ochrony turbiny przed powstawaniem osadów na łopatkach wirników.

### Znaczenie niezawodnej analizy wody i pary

Zestaw parametrów kontrolowanych w celu zapewnienia odpowiedniej jakości wody zasilającej, wody kotłowej i pary nie ulega istotnym zmianom już od kilku dziesięcioleci. Jednakże rosną wymagania dotyczące niezawodności stosowanych układów pomiarowych oraz spełniania przez nich wymogów narzucanych przez systemy jakości. Wynika to m.in. z postępującej automatyzacji pracy obiektów, w ślad za czym idzie zmniejszenie liczby personelu obsługowego.

Jednocześnie następuje zróżnicowanie reżimów chemicznego prowadzenia pracy kotłów w rozumieniu utrzymywania parametrów wody i pary. Coraz częściej, zamiast stosowanego tradycyjnie trybu czysto alkalicznego, stosowany jest tryb KOMBI (amoniakalno-tlenowy), który stawia pomiarom analitycznym wysokie

wymagania ze względu na konieczność ścisłej kontroli układów dozowania tlenu i amoniaku z jednoczesnym nadzorem obecności w kondensacie jonów metali będących produktami korozji.

Również nowo budowane bloki energetyczne na parametry nadkrytyczne stawiają coraz wyższe wymagania pomiarowym układom analizy wody. W warunkach temperatury pary przegrzanej przekraczającej 600°C przy ciśnieniach rzędu 24-28 MPa, na blokach tych znacząco wzrosło obciążenie cieplne i mechaniczne poszczególnych fragmentów instalacji. Zagrożenie awarią w wyniku wydzielenia osadów na łopatkach turbin lub nadmiernego tworzenia się warstwy pasywacyjnej na elementach przegrzewaczy wskutek niewłaściwych parametrów wody zasilającej lub pary jest znacząco większe.

Przedmiotem analizy w dalszym ciągu pozostają kluczowe parametry określone zarówno przez polską normę PN-EN 12952-12:2006: Kotły wodnorurkowe i urządzenia pomocnicze. Część 12: Wymagania dotyczące jakości wody zasilającej i wody kotłowej, jak również międzynarodowe wytyczne VGB Power-Tech e.V. nr VGB-S-010-T-00 z 2011, które stanowią odniesienie do większości europejskich norm krajowych. Są to:

- wartość pH wody zasilającej i kotłowej – jako warunek podstawowy zapewnienia optymalnych warunków dla pasywacji elementów części wodnej obiegu;
- przewodność właściwa bezpośrednia i za kolumną kationitową w wodzie, parze i kondensacie – jako podstawowa kontrola stanu odsolenia wszystkich faz medium, przy czym porównania poszczególnych punktów pomiarowych pozwala na wyciągnięcie dodatkowych wniosków;

- c) stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie – przede wszystkim w wodzie zasilającej i w kondensacie z turbiny;
- d) stężenie krzemionki całkowitej – pomiar ciągły wykonywany jest najczęściej w wodzie kotłowej z walczaka, w celu określenia wielkości jej zateżenia;
- e) stężenie jonów sodu – pomiar kluczowy dla oceny jakości separacji pary i w konsekwencji ewentualnego niebezpieczeństwa tworzenia się osadów, w szczególności na poszczególnych stopniach turbiny parowej;
- f) stężenie fosforanów – pomiar wykonywany w wodzie kotłowej, pozwalający ocenić zagrożenie nadmiernego tworzenia się szlamów, jak również zagrożenie uszkodzenia warstw pasywacyjnych wskutek tworzenia się łatwo rozpuszczalnych fosforanów żelaza; ważne jest utrzymywanie stężenia fosforanów na odpowiednim poziomie, ponieważ zbyt wysokie ich stężenie może zwiększać pianotwórczość wody kotłowej oraz powodować nadmierny wzrost odczynu pH.

Pierwszym elementem, warunkującym spełnienie przez system analizy swojego zadania, jest niezawodność układu poboru próbek, który musi zapewniać bezpieczny i wiarygodny pobór medium. Wyzwaniem jest zarówno wysokie ciśnienie, sięgające 28 MPa w przypadku pary przegrzanej na obecnie uruchamianych blokach nadkrytycznych, jak również temperatura próbki, przekraczająca w nowych aplikacjach 600°C.

W zakresie układów poboru próbek dostarczanych dla projektów realizowanych w polskiej energetyce, *Endress+Hauser Polska* współpracuje z *Zakładami Pomiarowo-Badawczymi Energetyki „ENERGOPOMIAR” Sp. z o.o.* z Gliwic. Dla polskich elektrowni oraz elektrociepłowni wspomniane układy dostarczane są w postaci paneli zaprojektowanych i wykonanych przez specjalistów Zakładu Chemii i Diagnostyki, jednostki organizacyjnej firmy „ENERGOPOMIAR” Sp. z o.o.

Drugim warunkiem dobrze działającego systemu jest niezawodna sensoryka, zapewniająca użytkownikowi wiarygodny sygnał, o odpowiedniej stabilności i udokumentowanej kalibracji. W tym zakresie *Endress+Hauser* proponuje wykorzystanie systemu *Memosens®* z obsługującymi go przetwornikami *Liquiline*. Oba moduły zostaną opisane pokrótce w dalszej części artykułu.

## Panele poboru i przygotowania próbek

Głównym zadaniem kontroli parametrów fizykochemicznych wód obiegów ciepłowniczych i wodno-parowych bloków energetycznych jest zapewnienie prawidłowej i bezpiecznej eksploatacji urządzeń energetycznych, zatem próbka czynnika obiegowego poddana analizie musi być przede wszystkim reprezentatywna.

O reprezentatywności próbki decyduje miejsce i sposób pobrania, czyli właściwa sonda, doprowadzenie próbki instalacją z właściwego materiału oraz jej przygotowanie, czyli schłodzenie do właściwej temperatury, redukcja ciśnienia, stały przepływ, usunięcie zanieczyszczeń.

W energetyce w spełnieniu tych wymagań pomagają przestrzeganie zaleceń normy PN-C-04621:1988 „Pobieranie próbek wody i pary z urządzeń energetycznych i rurociągów do analizy fizykochemicznej”. Cytowana norma jest wynikiem wieloletnich doświadczeń autorów w dziedzinie poboru i przygotowania próbek wody i pary, jak również jest zgodna z zaleceniami

i wytycznymi europejskimi (np. niemieckimi VGB). Spełnienie jej wymogów przez dostarczane układy daje pewność posiadania reprezentatywnej i wiarygodnej próbki do analizy oraz gwarantuje wieloletnią eksploatację urządzeń przy zachowaniu wymagań i przepisów UDT i BHP.

Proponowane przez *ENERGOPOMIAR* systemy przygotowania próbek spełniają wymagania:

- Dyrektywy 2014/68/UE wdrożonej do prawa polskiego Rozporządzeniem Ministra Rozwoju z dnia 11 lipca 2016 r. w sprawie wymagań dla urządzeń ciśnieniowych i zespołów urządzeń ciśnieniowych,
- PN-EN 12952-12:2006 „Kotły wodnorurkowe i urządzenia pomocnicze. Wymagania dotyczące jakości wody zasilającej oraz wody kotłowej”,
- PN-C-04621:1988 „Pobieranie próbek wody i pary z urządzeń energetycznych i rurociągów do analizy fizykochemicznej”; zgodnie z tą normą wszystkie elementy układu mające styczność z medium poddawanych kontroli powinny być wykonane ze stali nierdzewnej odpornej na korozję, tak aby zapobiegać dodatkowemu zanieczyszczeniu próbek.

Na rysunku 1 przedstawiono chłodnice nowej generacji wyprodukowane przez *ENERGOPOMIAR*, stanowiące kluczowy element systemu poboru i przygotowania próbek.



Rys. 1. System poboru i przygotowania próbek, prod. *ENERGOPOMIAR*

Produkowane przez *ENERGOPOMIAR* chłodnice typu ChPWN przeznaczone są do schładzania próbek wody lub pary wodnej z obiegów wodno-parowych kotłów i bloków energetycznych do analiz fizykochemicznych. Zastosowanie chłodnic umożliwia ciągły lub okresowy pobór próbek do analiz manualnych i automatycznych służących chemicznej kontroli pracy kotłów, turbin parowych i urządzeń pomocniczych. Konstrukcja chłodnic pozwala na stosowanie, jako czynnika chłodzącego, wody zdekarbonizowanej, zmiękczonej lub zdeminielizowanej. Wymagana minimalna ilość wody chłodzącej to około 10 dm<sup>3</sup>/min.

Chłodnica posiada wewnętrzną kierownicę wody chłodzącej, dzięki której ograniczona jest do minimum ilość wody chłodzącej, jak również wyeliminowane są niekorzystne zjawiska przegrzewania rurek węzownicy w obrębie wlotu próbki o wysokich parametrach. Rozwiązanie to dodatkowo wydłuża żywotność chłodnic, eliminując zjawisko zmechnienia materiału.



Rys. 2. Kompletny panel poboru i chłodzenia próbki, prod. ENERGOPOMIAR



Rys. 3. Przetworniki Liquiline do pomiaru odczynu pH, przewodności i tlenu rozpuszczonego, prod. Endress+Hauser

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono odpowiednio: kompletny układ chłodzenia wraz z redukcją ciśnienia i odgazowaniem próbki oraz współpracujący z nim system przetworników pomiarowy Liquiline.

## Czujniki i przetworniki pomiarowe

Sensoryka dostarczana przez *Endress+Hauser* od 2004 roku opiera się na cyfrowych czujnikach Memosens, w których wartość mierzona przetwarzania jest w samym czujniku, a następnie przesyłana do przetwornika pomiarowego w postaci sygnału cyfrowego. Przejście z analogowej na cyfrową transmisję sygnałów praktycznie wyeliminowało problem kompatybilności elektromagnetycznej czujników oraz zakłóceń od zewnętrznych pól elektromagnetycznych. Pierwszą grupą czujników, dla których właśnie ten problem był najdotkliwiej odczuwany, były elektrody pH, w których fizycznym sygnałem mierzonym wytwarzanym w sensorze jest sygnał mV generowany ze źródła o znikomej wydajności i wysokiej rezystancji wewnętrznej rzędu GΩ. W rezultacie, był to sygnał ekstremalnie podatny na zakłócenia i dopuszczający transmisję tylko na bardzo bliskie odległości.

Czujniki Memosens®, oprócz własnego układu przetwarzania a/c, posiadają również wbudowaną pamięć, dzięki czemu dane kalibracyjne i diagnostyczne są zapisywane bezpośrednio w samym czujniku i odczytywane przez przetwornik pomiarowy. Ta cecha umożliwiła wcześniejsze przygotowanie rezerwowych, skalibrowanych czujników, które – w razie potrzeby wymiany awaryjnej czujnika pracującego lub jego konserwacji – mogą być zainstalowane w układzie pomiarowym przez personel nieposiadający specjalnych kwalifikacji w zakresie obsługi i kalibracji urządzeń analitycznych.

## Czujnik pH

W układach analizy pH w obiegu parowym najczęściej stosuje się cyfrowe elektrody pomiarowe typu Orbisint CPS11D, z żelowym systemem referencyjnym w wykonaniu z dodatkowym pierścieniem solnym, umożliwiającym pracę w wodzie o niskiej przewodności, poniżej 0,2 μS/cm. Takie wykonanie czujnika umożliwia pomiar w zakresie 2-12 pH, co pokrywa wszystkie zastosowania w wodzie demineralizowanej, zarówno w obiegach wodno-parowych jak również na SUW.

W przeszłości, w tego rodzaju punktach pomiarowych popularne były również elektrody z ciekłym elektrolitem części referencyjnej, jednak obecnie przy analizie w obiegach kotłowych odstępuje się od nich ze względu na uciążliwą eksploatację, wynikającą z konieczności zachowania wysokiej szczelności układów dozowania KCl.

## Czujnik przewodności elektrolitycznej

Do pomiarów przewodności elektrolitycznej wody i pary stosuje się dwuelektrodowy czujnik konduktometryczny typu CLS15D. Czujnik również dysponuje łączem cyfrowym Memosens® i używany jest w dwóch wykonaniach, zależnie od zastosowania – ze stałą geometryczną  $k = 0,01 \text{ cm}^{-1}$  dla pomiarów przewodności za kolumną kationitową w wodzie zasilającej lub parze, lub w wykonaniu  $k = 0,1 \text{ cm}^{-1}$  przy pomiarach przewodności wody kotłowej.

Należy się spodziewać, że w związku z presją na skrócenie czasu uruchamiania bloków coraz częściej będzie się pojawiała konieczność pomiaru dodatkowo przewodności kationitowej po odgazowaniu próbki, czyli eliminacji wpływu CO<sub>2</sub>. Do takiego pomiaru stosuje się czujnik przewodności taki sam jak dla standardowej przewodności za kolumną kationitową, przy czym należy przewidzieć wyposażenie panelu przygotowania próbki w układ odgazowania.

Czujnik CLS15D z łączem Memosens® pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Czujnik przewodności elektrolitycznej CLS15D  
prod. Endress+Hauser

## Pomiar tlenu rozpuszczonego w wodzie

W przypadku prowadzenia bloku w standardowym reżimie alkalicznym beztlenowym wartość rozpuszczonego  $O_2$  nie powinna przekraczać 10 ppb. Dla takich zastosowań dedykowany jest amperometryczny czujnik Memosens typu Oxymax COS22D (rys. 5). Czujnik COS22D umożliwia pomiar stężenia tlenu w zakresie od 1 do 2000 ppb, co pokrywa również wartości typowe dla reżimu KOMBI, czyli amoniakalno-tlenowego.



Rys. 5. Czujnik śladowego  
tlenu rozpuszczonego  
Oxymax COS22D  
prod. Endress+Hauser

## Przetworniki pomiarowe Liquiline

Wszystkie czujniki Endress+Hauser z łączem Memosens® współpracują z przetwornikami pomiarowymi Liquiline CM442, które automatycznie rozpoznają rodzaj podłączonego czujnika i odczytują jego dane kalibracyjne i diagnostyczne z elektronicznej pamięci umiejscowionej w głowicy czujnika.

W ten sposób zainstalowany sensor jest gotowy do pracy natychmiast, a czas bez pomiaru z powodu konserwacji czujnika wynosi dostawnie kilka sekund. Dodatkowo, dzięki np. zintegrowanym algorytmom dla przewodności (według VGB) zapisanym w oprogramowaniu przetworników, uzyskiwane wyniki są zgodne z odpowiednimi wytycznymi. Ważne jest też bezproblemowe integrowanie do każdego systemu nadrzędnej kontroli procesu poprzez 0/4... 20 mA, HART, PROFIBUS DP, Modbus TCP, Modbus RS485, Ethernet IP i web serwer.

## Pomiary jonów sodu

Pomiar realizowany jest przy pomocy analizatora z elektrodą jonoselektywną, z kondycjonowaniem próbki w analizatorze poprzez buforowanie do silnie alkalicznego pH. Tą metodą uzyskuje się możliwość określania stężenia  $Na^+$  począwszy od 0,1 ppb, przy czym wartości mierzone standardowo utrzymują się w granicach poniżej 10 ppb. W zależności od potrzeb danego obiektu – w analitycznych układach pomiarowych włączane są również pomiary kolorymetryczne fosforanów i krzemionki.

## Usprawnienia obsługowe: Memosens® i technologia Heartbeat®

Unifikacja sensoryki Endress+Hauser na platformie cyfrowej technologii Memosens® pozwala na wprowadzenie szeregu udogodnień w zakresie obsługi systemów pomiarowych.

- Bardziej elastyczne staje się planowanie czynności kalibracyjnych, wymagających dostępności specjalnie wykwalifikowanego w tym zakresie personelu.
- Dostępność, ciągła rejestracja i ocena parametrów diagnostycznych czujników ułatwiają planowanie obsługi prewencyjnej wraz z ewentualną wymianą elementów eksploatacyjnych. Znacząco redukuje to ryzyko niedyspozycyjności pomiaru.
- Diagnostyka Memosens® w zakresie najbardziej krytycznych pomiarów (pH i przewodność) została zintegrowana w ramach platformy diagnostycznej Heartbeat® dla weryfikacji i raportowania niezawodności. Dzięki temu, że weryfikacja Heartbeat® jest wspólną platformą dla wszystkich urządzeń Endress+Hauser i obejmuje już inne najistotniejsze w energetyce pomiary obiektowe (przepływomierze, przetworniki ciśnienia, poziomu i temperatury), obecna integracja w nim urządzeń analitycznych umożliwi unifikację oceny niezawodności zgodnie z kryteriami SIL z innymi istniejącymi na obiekcie pomiarami.

Do końca bieżącego roku planowana jest integracja z systemem weryfikacji Heartbeat® wszystkich czujników analitycznych Endress+Hauser, a w dalszej kolejności, również analizatorów kolorymetrycznych.

## Podsumowanie

Inteligentne rozwiązania do monitorowania obiegu wodno-parowego wymagają optymalnego zaprojektowania, specjalistycznych urządzeń analitycznych, gwarantujących minimalne koszty utrzymania i jak najkrótsze czasy przestojów, a ich niezawodna praca jest warunkiem bezpiecznej pracy bloku.

Kompletne systemy pomiarowe z panelami poboru i przygotowania próbki produkowanymi przez ENERGOPOMIAR oraz układami pomiarowymi Liquiline z czujnikami systemu Memosens®, pozwalają na elastyczność i dostosowanie do potrzeb danego obiektu, a także stanowią rozwiązanie „pod klucz”. Dodatkowo umożliwiają prowadzenie wiarygodnej dokumentacji parametrów procesu i mogą być używane jako narzędzie do egzekwowania roszczeń gwarancyjnych. Sprzyjają optymalizacji stanów magazynowych materiałów eksploatacyjnych dla systemów pomiarowych i polepszają efektywność zarządzania przedsiębiorstwem. Integracja z systemami nadrzędnymi może się odbywać wszystkimi znanymi standardami komunikacji.